

Μέθοδοι Προώθησης Διαστημικών Οχημάτων

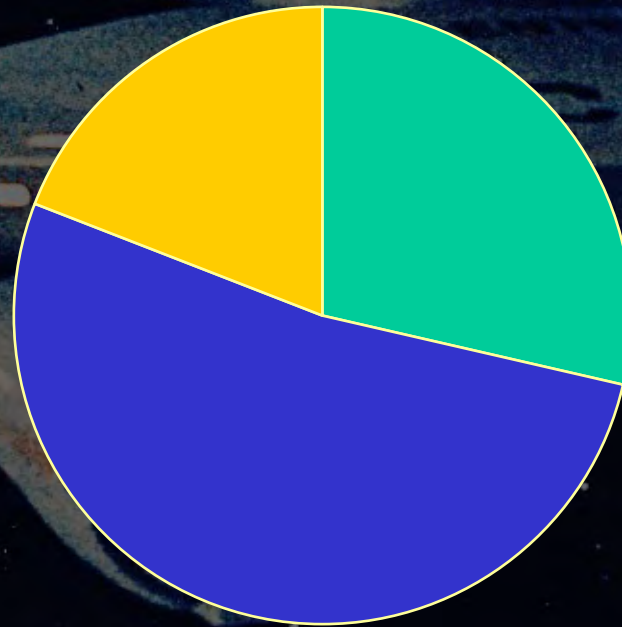
Φράγκος Δημήτρης
Φυσικός

jfragos@jfragos.info

We seldom stop to think that we are still creatures of the sea, able to leave it only because, from birth to death, we wear the water-filled space suits of our skins.

Arthur C. Clark

Μέθοδοι Προώθησης Διαστημικών Οχημάτων



- Αρχές προώθησης
- Μέθοδοι σε χρήση
- Μέθοδοι σε έρευνα - μελλοντικά συστήματα

Μέθοδοι Προώθησης Διαστημικών Οχημάτων -Κίνητρο

- Περιέργεια
- Ομορφιά
- Απόδραση από ένα τόσο μικρό κομμάτι του κόσμου
- Ειρήνη - ένωση
- Αγαθά (υλικά, τεχνολογία)
- Ψυχρός πόλεμος
 - Διηπειρωτικοί πύραυλοι
 - Γόητρο κρατών
 - Πόλεμος με ηλεκτρονικά μέσα
 - Χρηματικές απολαβές

1966: ΑΕΠ ΗΠΑ: 7% Άμυνα & 0.5% Διάστημα

- ~~Μετοικισμός του ανθρώπινου είδους με σκοπό τη συνέχειά του σε ενδεχόμενη καταστροφή του πλανήτη μας από:~~
 - ~~Περιβαλλοντολογικό πρόβλημα~~
 - ~~Διαστολή και θάνατο του Ήλιου μας~~

Μέθοδοι Προώθησης Διαστημικών Οχημάτων

-Η χαμηλή τροχιά και η σπουδαιότητά της

Επίσημο όριο του διαστήματος (100km)

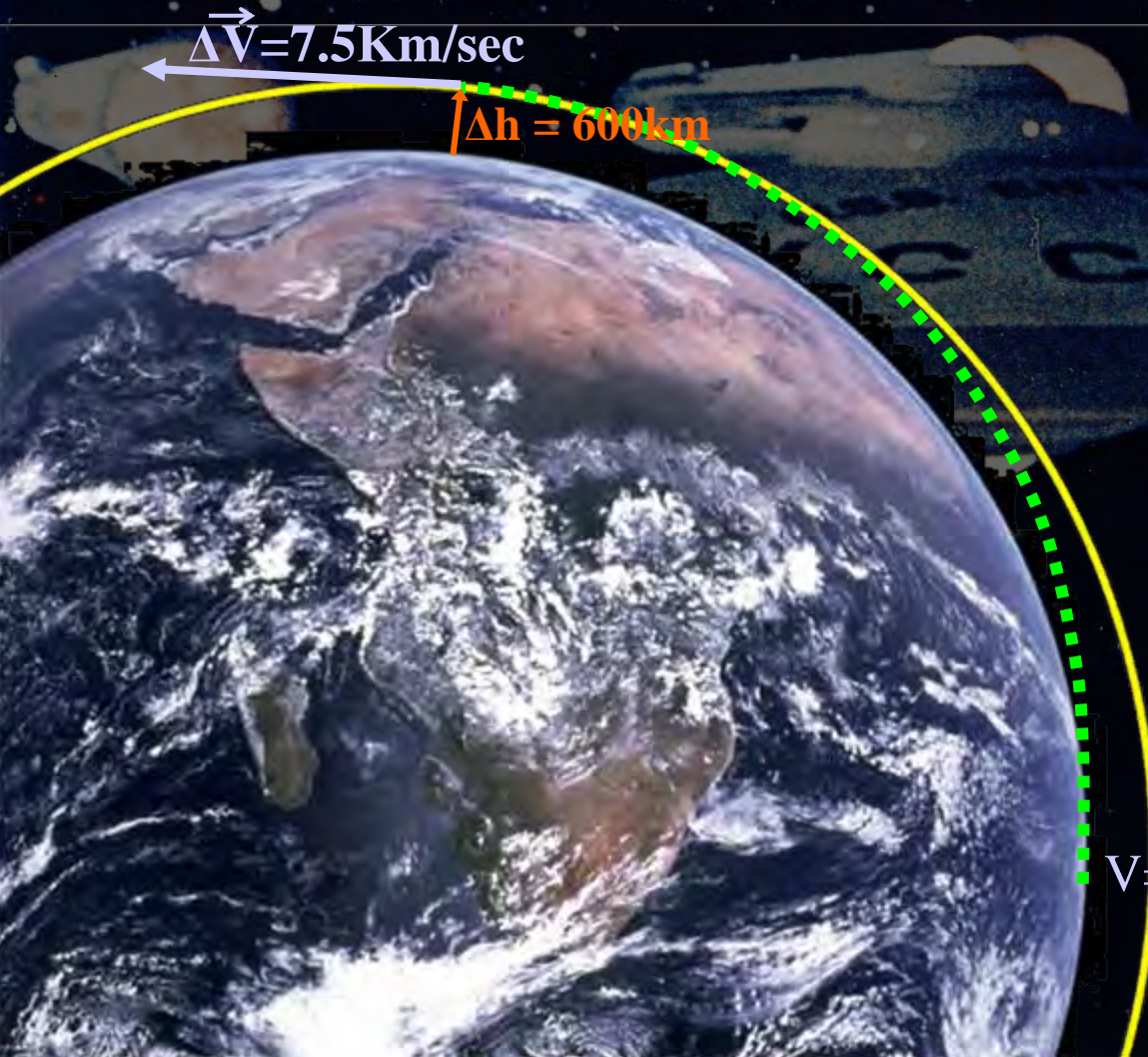
Χαμηλή τροχιά
(Low Earth Orbit - LEO)

Ταχ.: ~7.5 Km/sec
(~25Mach ~ 26000Km/h)

Ύψος: 300-800 Km
Περίοδος: ~90min



Μέθοδοι Προώθησης Διαστημικών Οχημάτων - Ταξίδι σε χαμηλή τροχιά και σε μακρύτερους προορισμούς



Τοποθέτηση μάζας 1Kg
σε Χαμηλή Τροχιά:

■ Δυναμική ενέργεια:
6MJoule
(6KW x 1000sec)
(8.1hp x 1000sec)

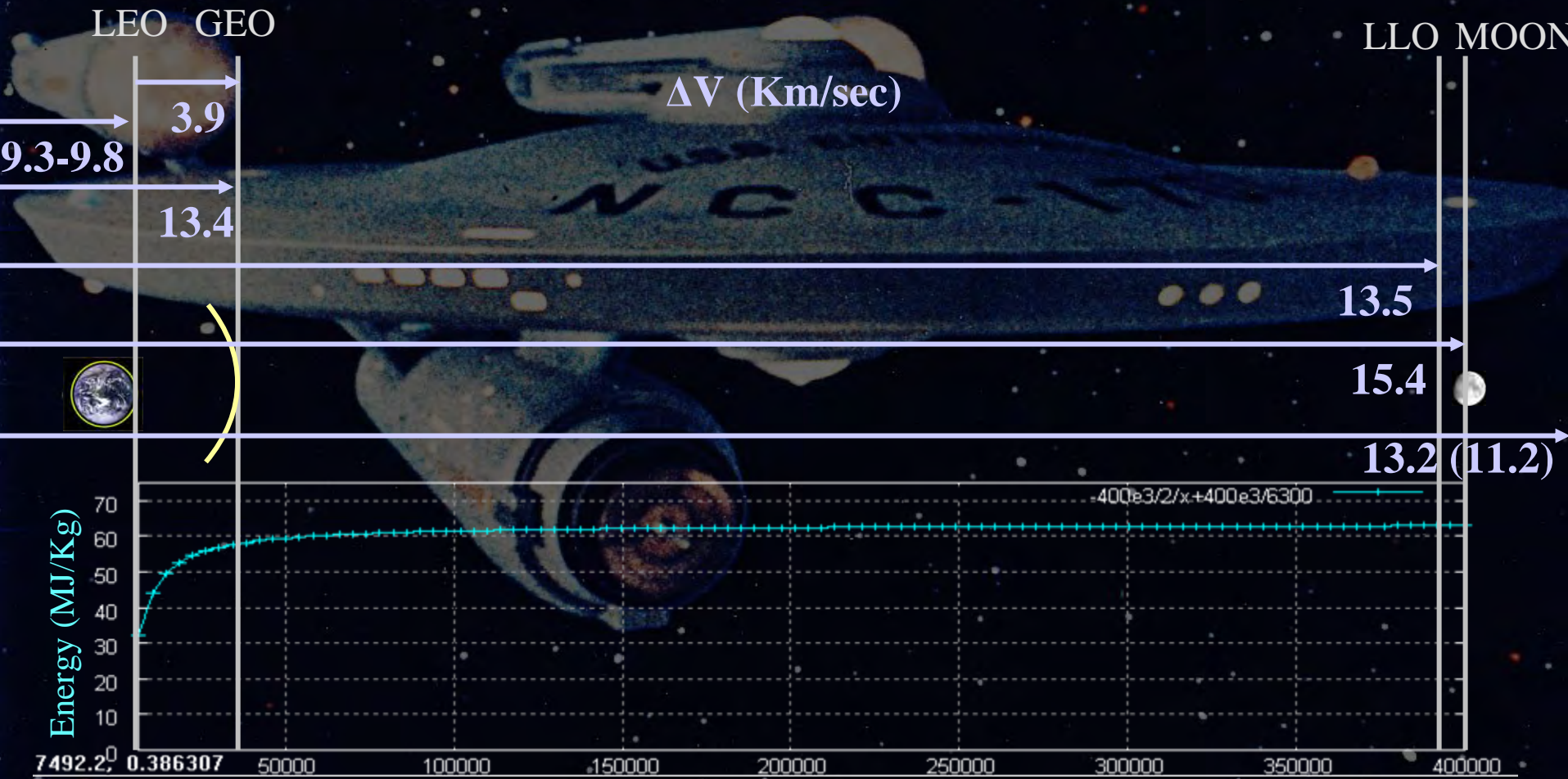
+

■ Κινητική ενέργεια:
28MJoule
(28KW x 1000sec)
(38hp x 1000sec)

Ισοδύναμη $\Delta V = 9.5 \text{ Km/sec}$

Μέθοδοι Προώθησης Διαστημικών Οχημάτων

- Ταξίδι σε χαμηλή τροχιά και σε μακρύτερους προορισμούς



- Μέθοδοι προώθησης (αρχές λειτουργίας)

- Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας

 - Αρχή λειτουργίας

 - Προβλήματα

- Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα

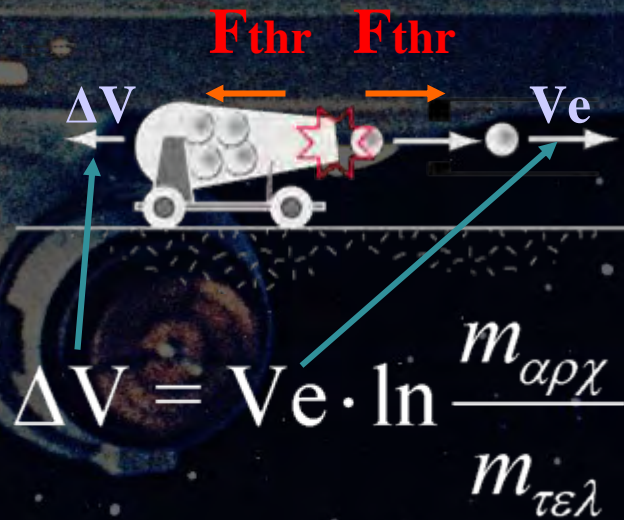
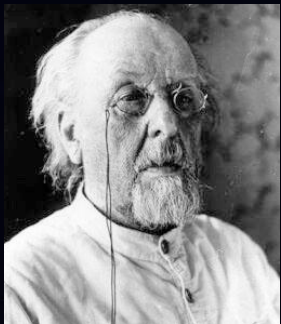
- Χημική ενέργεια (καύσης)

- Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας

- Χρήση πυρηνικής ενέργειας

- Μέθοδοι προώθησης (αρχές λειτουργίας)
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
- Αρχή λειτουργίας
 - Προβλήματα
 - Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα

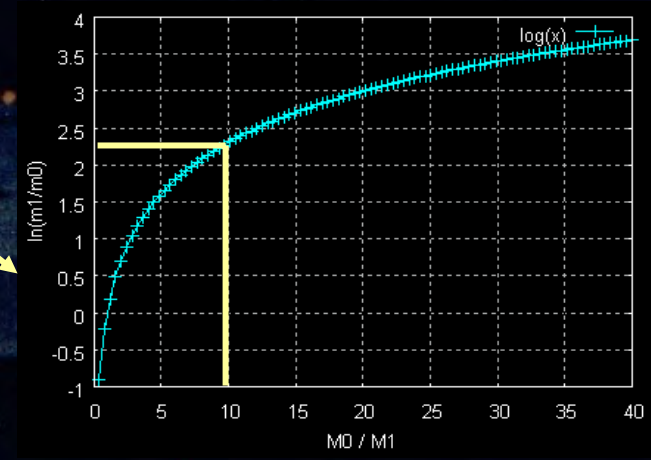
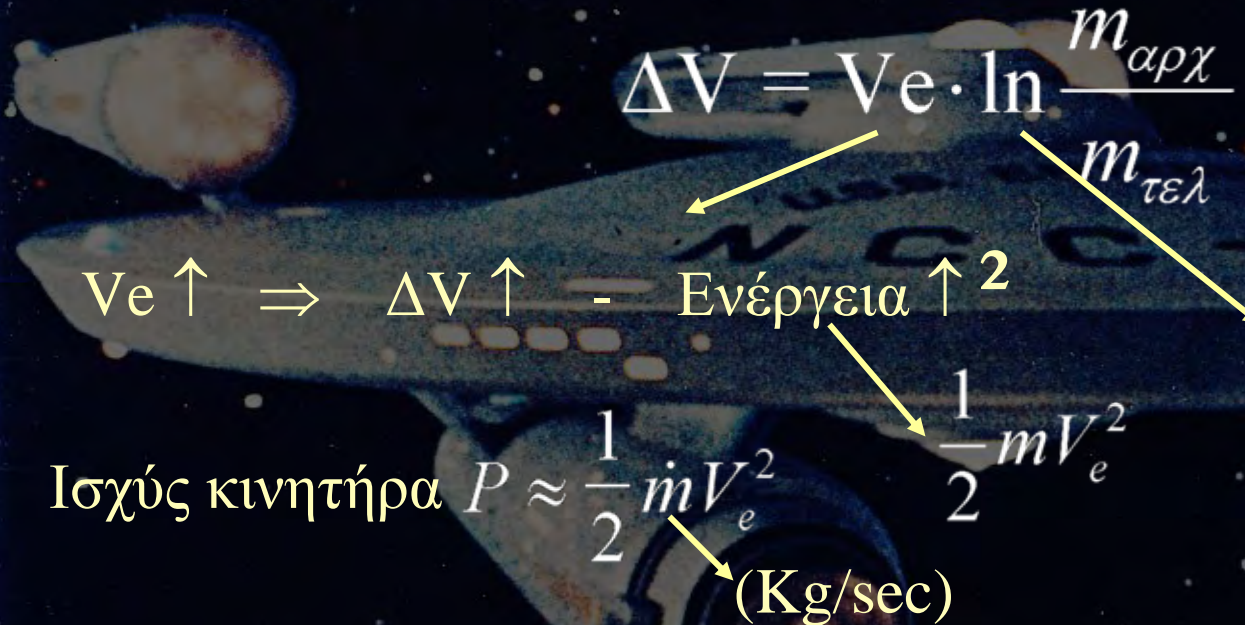
Εξίσωση των
πυραύλων:
Η Εξίσωση του
Tsiolkovsky



- Μέθοδοι προώθησης (αρχές λειτουργίας)
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Αρχή λειτουργίας

▪ Προβλήματα

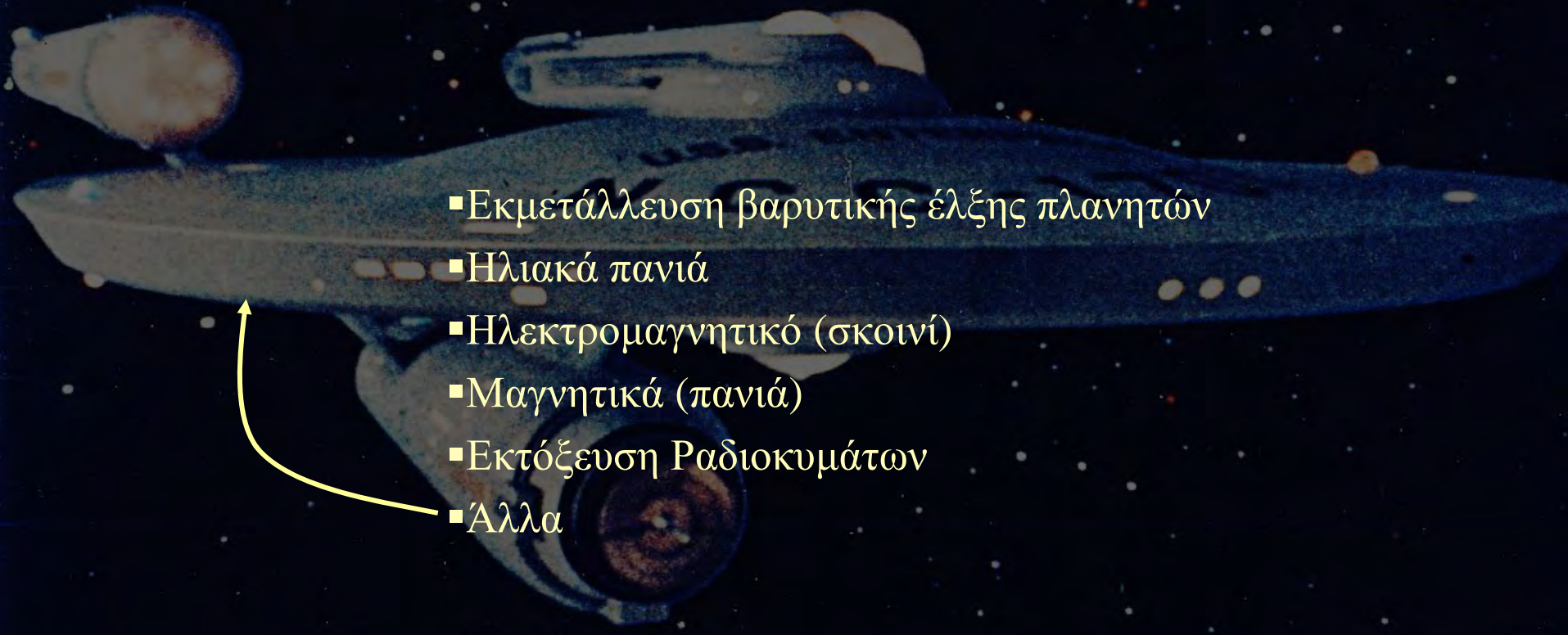
- Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα



$$F_{thr} \approx \frac{2P}{V_e}$$

- Χημικά καύσιμα:
- Πυκνότητα ενέργειας: $\approx 10 \text{ MJ/Kg}$
 - $V_e \approx 4.5 \text{ Km/sec}$

- Μέθοδοι προώθησης (αρχές λειτουργίας)
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα
-

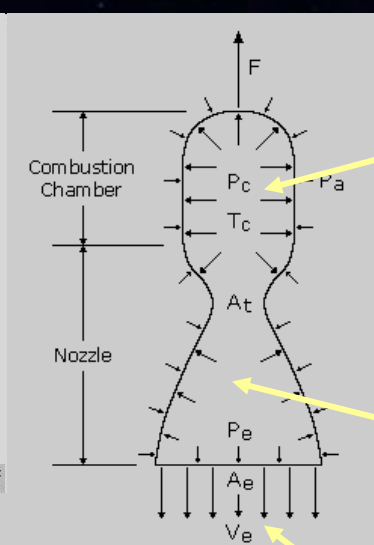
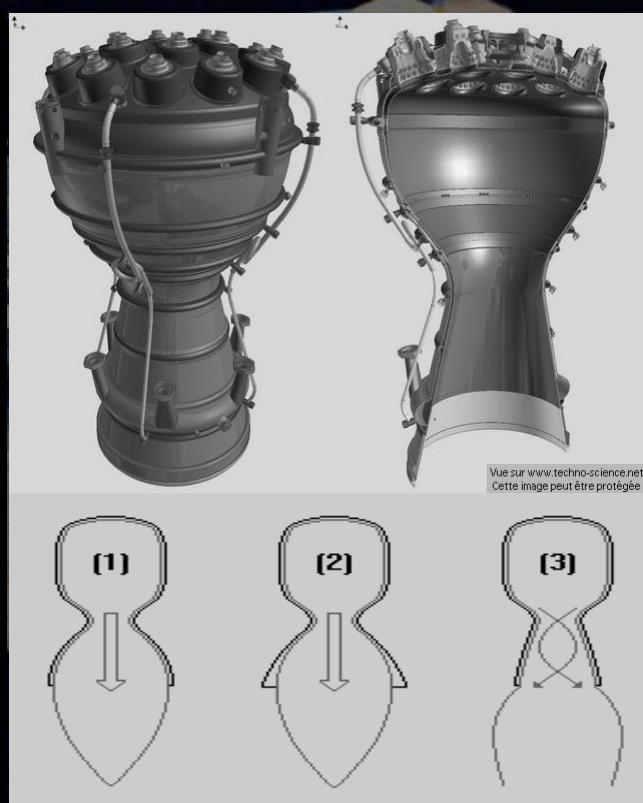
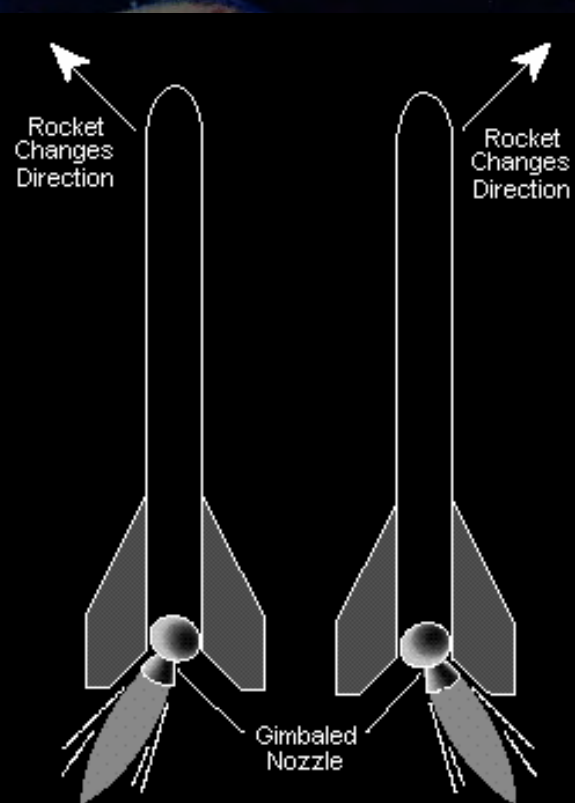
- 
- Εκμετάλλευση βαρυτικής έλξης πλανητών
 - Ηλιακά πανιά
 - Ηλεκτρομαγνητικό (σκοινί)
 - Μαγνητικά (πανιά)
 - Εκτόξευση Ραδιοκυμάτων
 - Άλλα

■ Status Τεχνολογίας

■ Μέθοδοι εν χρήση

- Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
- Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα
 - Εκμετάλλευση βαρυτικής έλξης πλανητών

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)



10-200 bar

~3200 °C

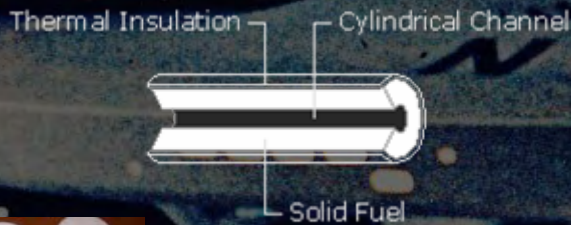
~4500m/sec

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

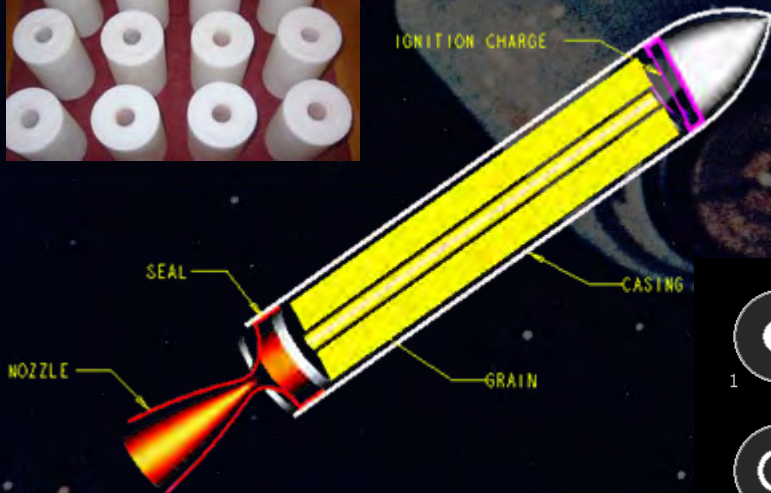


- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

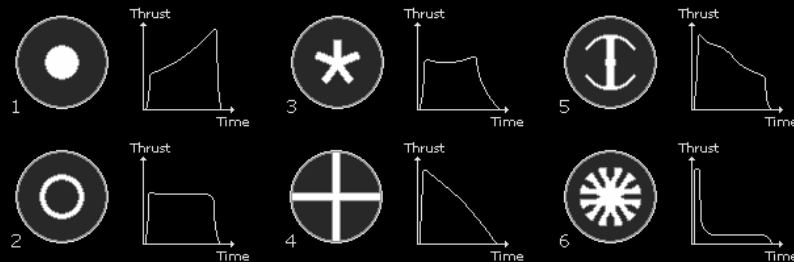
Πύραυλοι στερεών καυσίμων



IONIZATION CHARGE



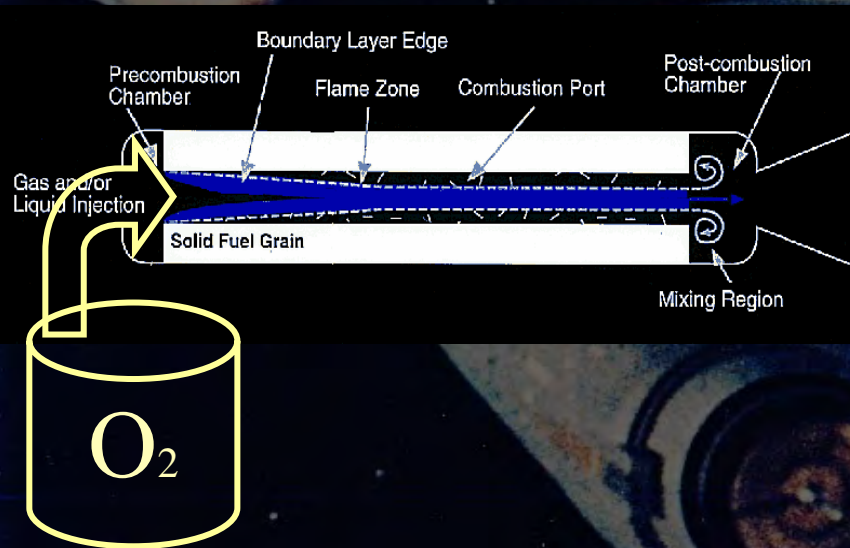
- Μεγάλη Προωθητική δύναμη (F_{thr})
- Απλούστατο σύστημα
- Συντηρούνται εύκολα
- Μεγάλο κλάσμα μάζας
- Δύσκολος έλεγχος ρυθμού καύσης
- Τοξικά & εκρηκτικά υλικά



25 / 04 / 2007

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Πύραυλοι υβριδικής μορφής

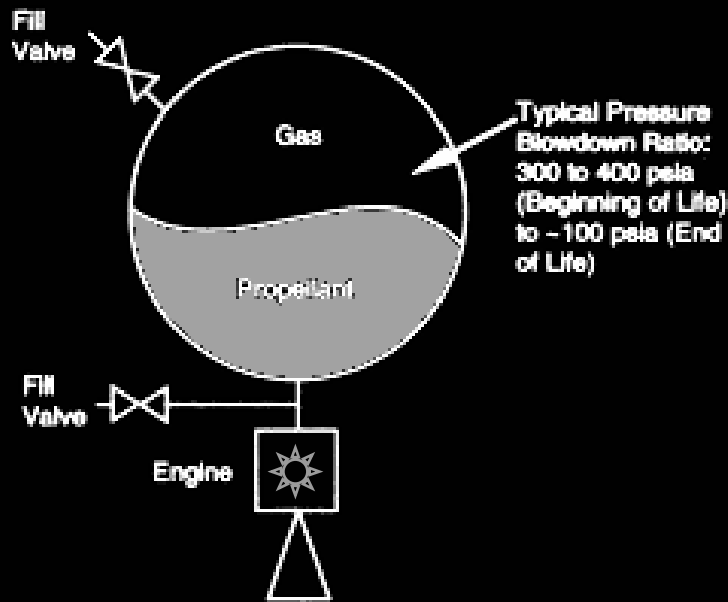


- Απλό σύστημα
- Υλικά μη τοξικά
- Εύκολος έλεγχος ρυθμού καύσης
- Μικρό κόστος καυσίμου

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Πύραυλοι ενός υγρού (Monopropellant)

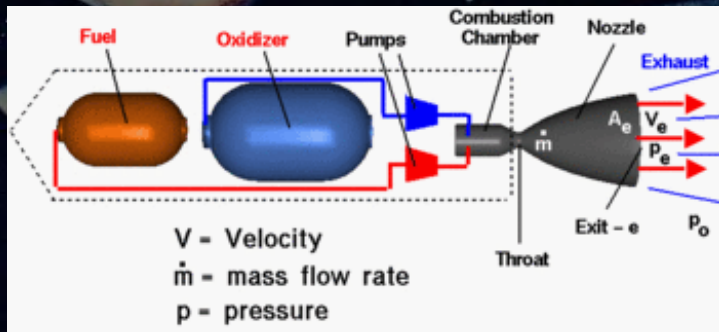
Blowdown System



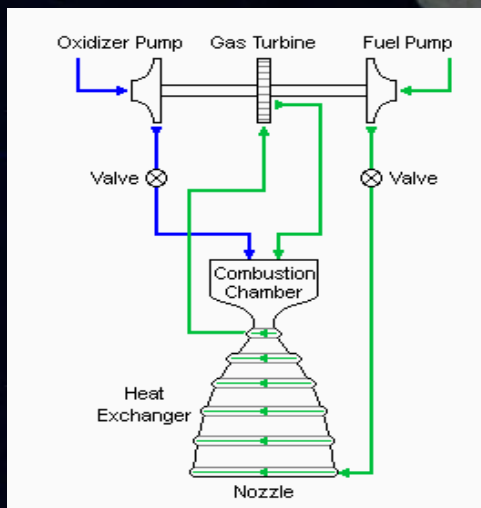
- Υπέρ-απλό σύστημα
- Εύκολος έλεγχος ρυθμού καύσης
- Εύκολη κατασκευή μικρού μεγέθους κινητήρων για μανούβρες
- Υλικά άκρως τοξικά
- Μικρό ΔV

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Πύραυλοι δύο υγρών (Bipropellant)



- Πολύ μεγάλη απόδοση
- Εύκολος έλεγχος ρυθμού καύσης

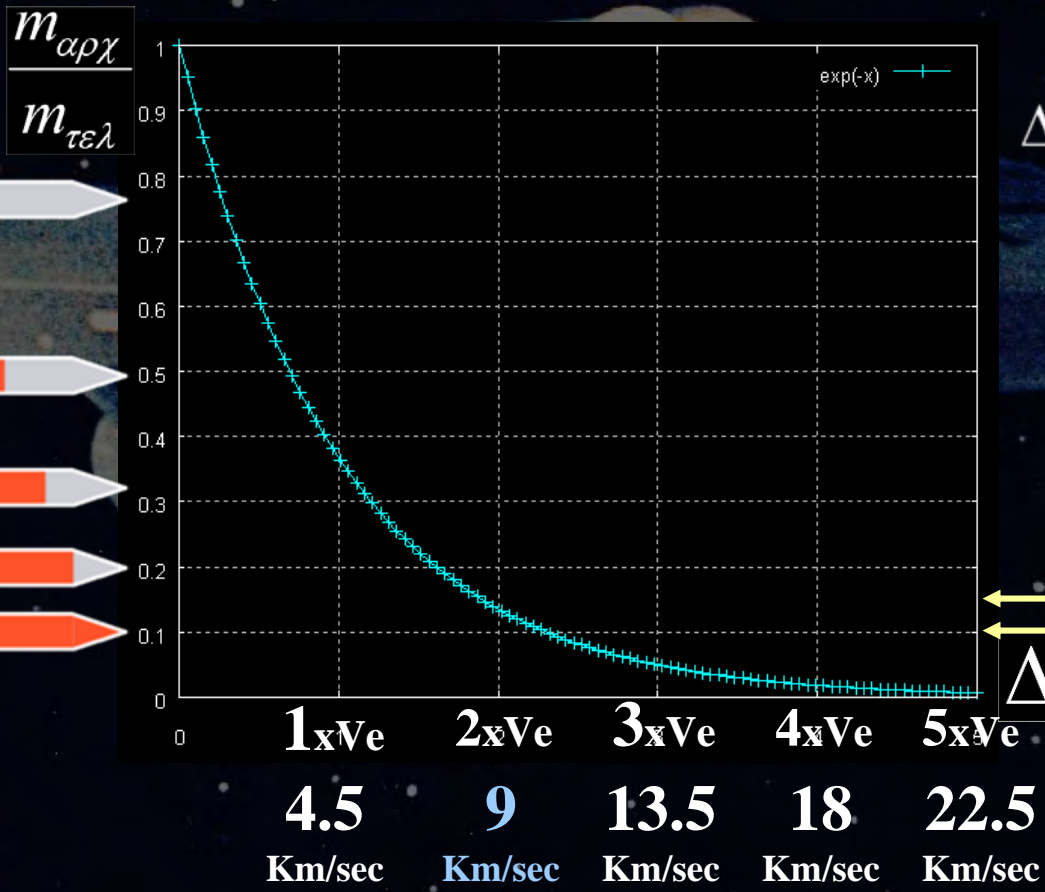
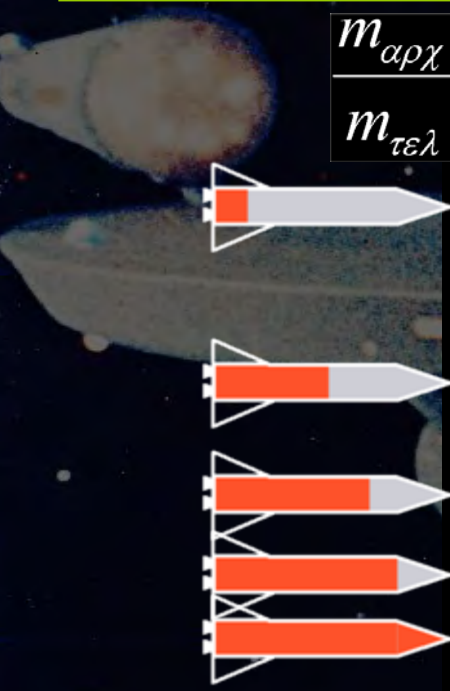


$H_2 + O_2$
 Κηροζίνη + O_2
 Αιθανόλη + O_2

....

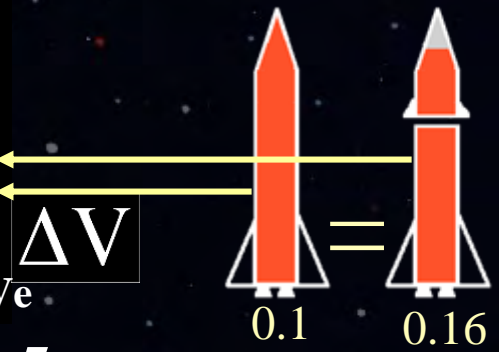
- Μηχανικά πολύπλοκο σύστημα
- Καύσιμα υπό πίεση και σε κρυογονικές θερμοκρασίες

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)



$$\Delta V = Ve \cdot \ln \frac{m_{αρχ}}{m_{τελ}}$$

4.5 Km/sec



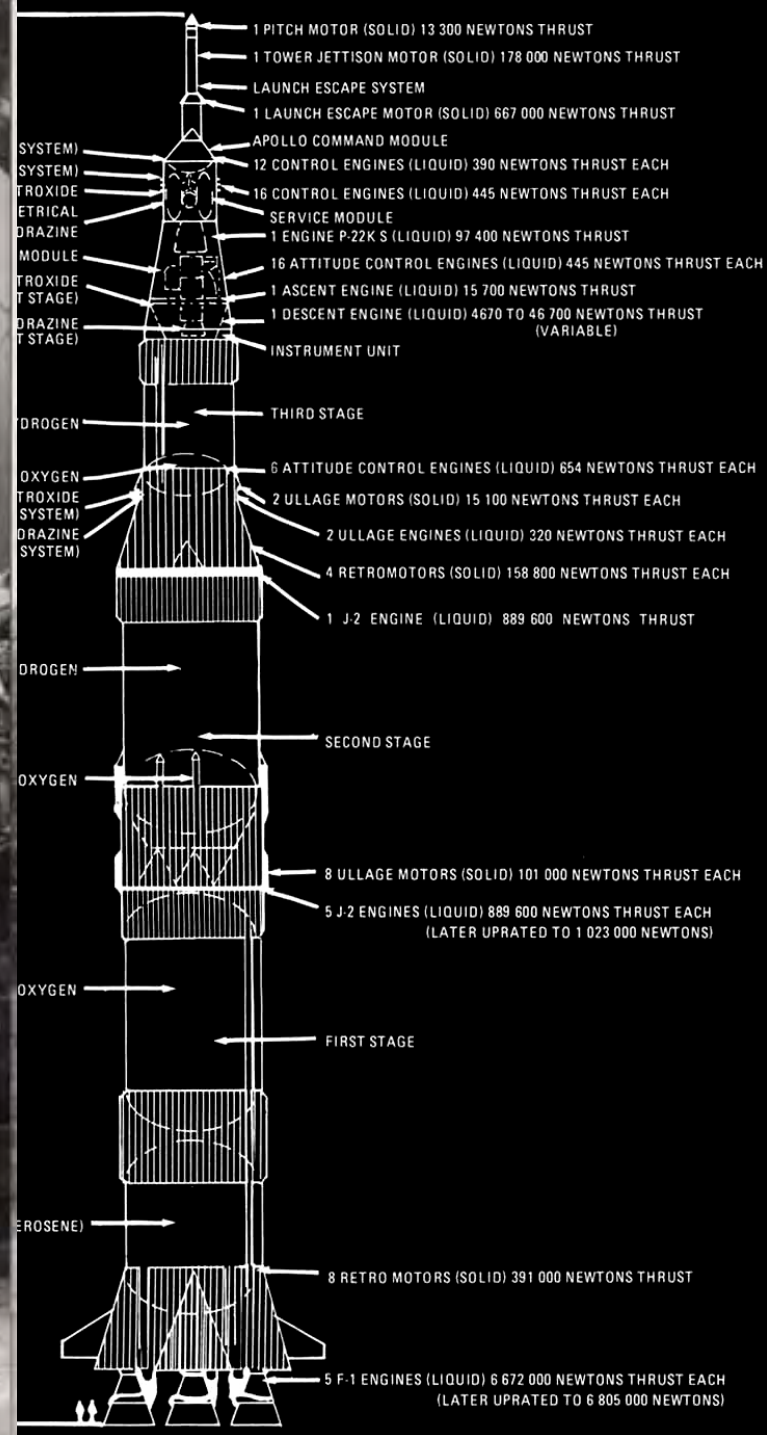
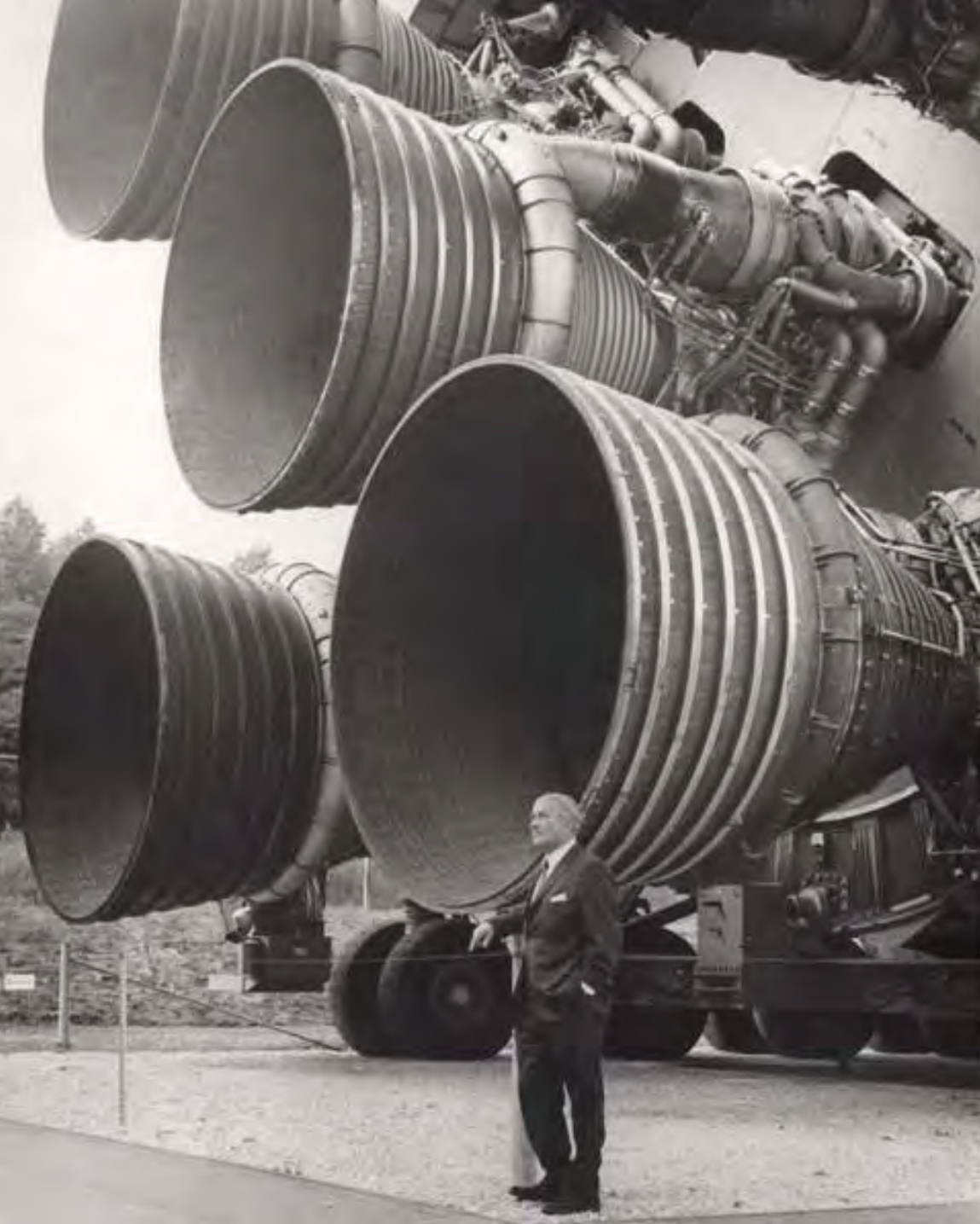
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

SATURN V



25 / 04 / 2007

ΩΡΙΩΝ



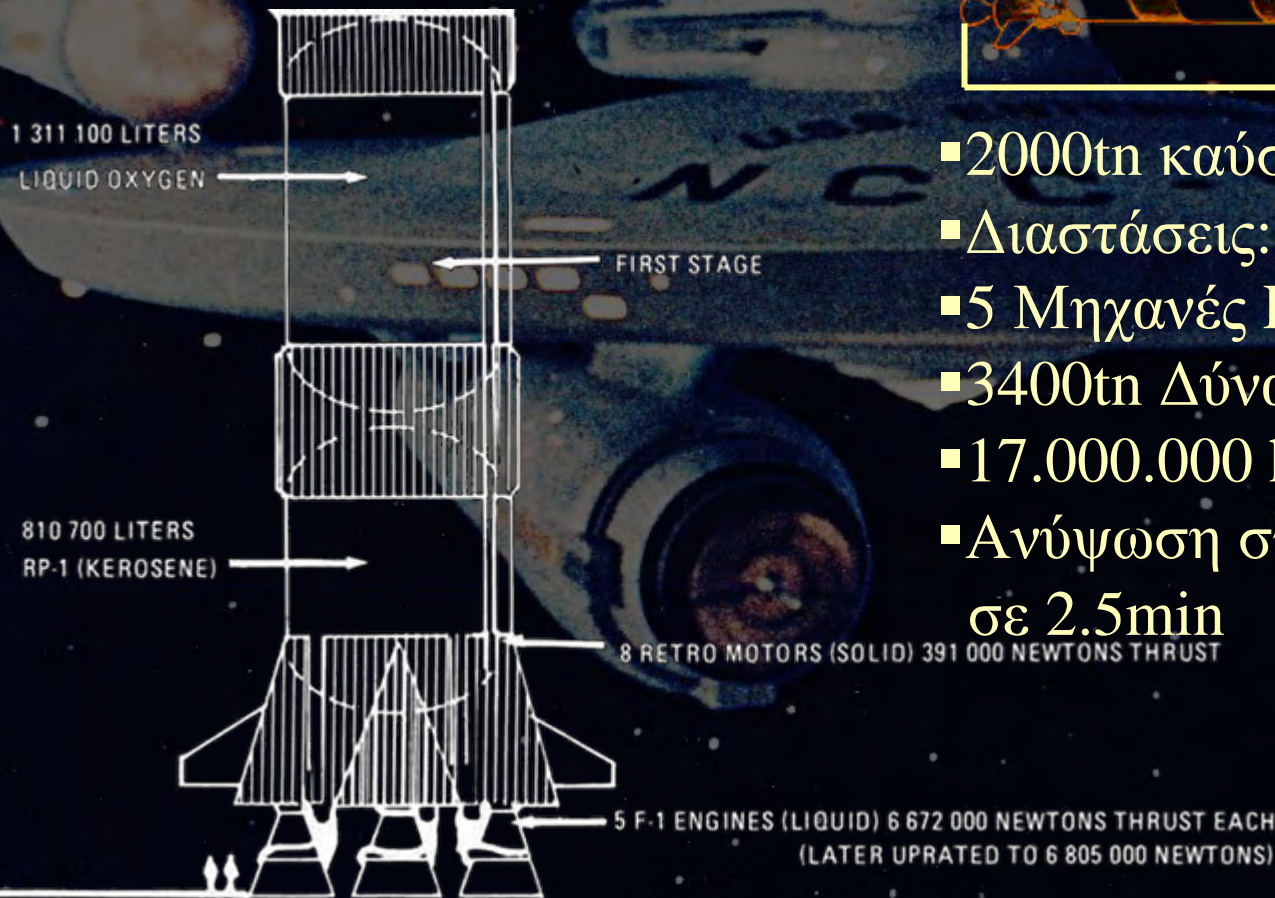
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)
-

SATURN V

- Ύψος: 110m
- $\varnothing=10\text{m}$
- $m_{\text{αρχ}} = 3,038,500 \text{ kg}$
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε χαμηλή τροχιά: 118tn
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε σεληνιακή τροχιά: 47tn
- 13 αποστολές χωρίς απώλεια ωφέλιμου φορτίου
- Η μεγαλύτερη μηχανή που κατασκευάσθηκε ποτέ
- Σε απόσυρση λόγω υψηλού κόστους προσωπικού?

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

SATURN V 1^ο Στάδιο



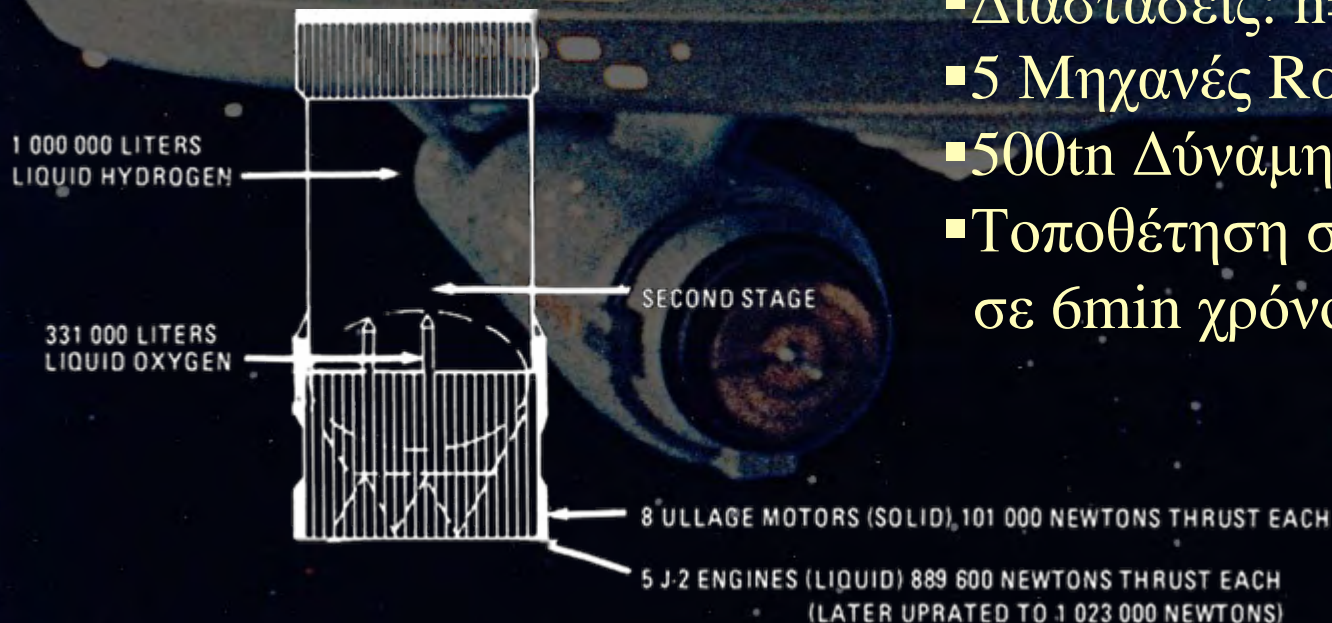
- 2000tn καύσιμα (Κηροζίνη + O₂)
- Διαστάσεις: h=40m, Ø=10m
- 5 Μηχανές F-1, οι 4 κινούμενες
- 3400tn Δύναμη
- 17.000.000 hp
- Ανύψωση στα 61Km / 8.5Mach σε 2.5min

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

SATURN V 2^ο Στάδιο

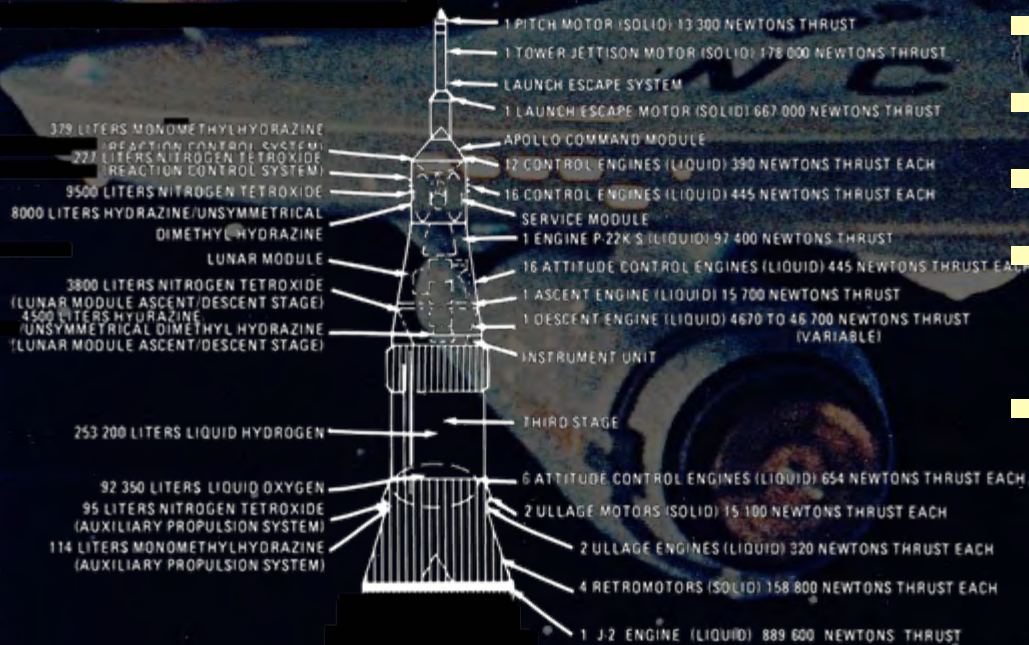


- 1330 m³ καύσιμα (H₂ + O₂)
- Διαστάσεις: h=40m, Ø=10m
- 5 Μηχανές Rocketdyne J-2
- 500tn Δύναμη
- Τοποθέτηση σε χαμηλή τροχιά σε 6min χρόνο λειτουργίας



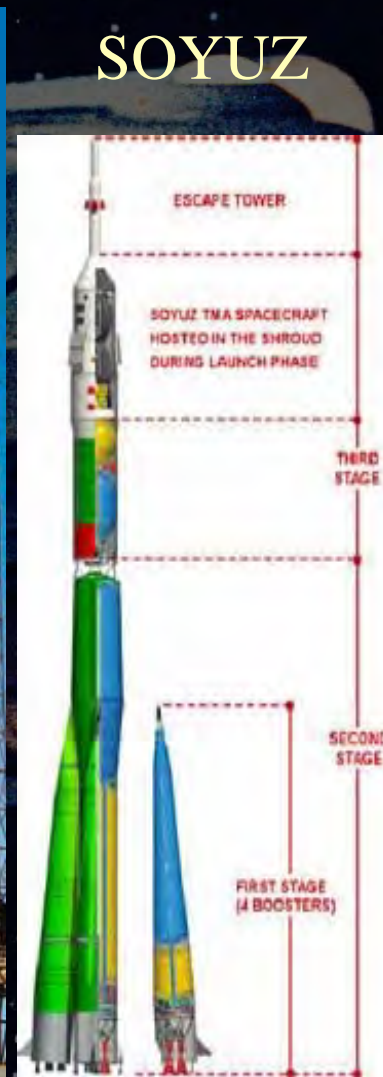
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

SATURN V 3^ο και 4^ο Στάδιο



- 340 m³ καύσιμα (H₂ + O₂)
- 1 Μηχανή Rocketdyne J-2
- 100tn Δύναμη
- Τοποθέτηση σε σεληνιακή τροχιά από χαμηλή τροχιά
- 6min χρόνος λειτουργίας

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)



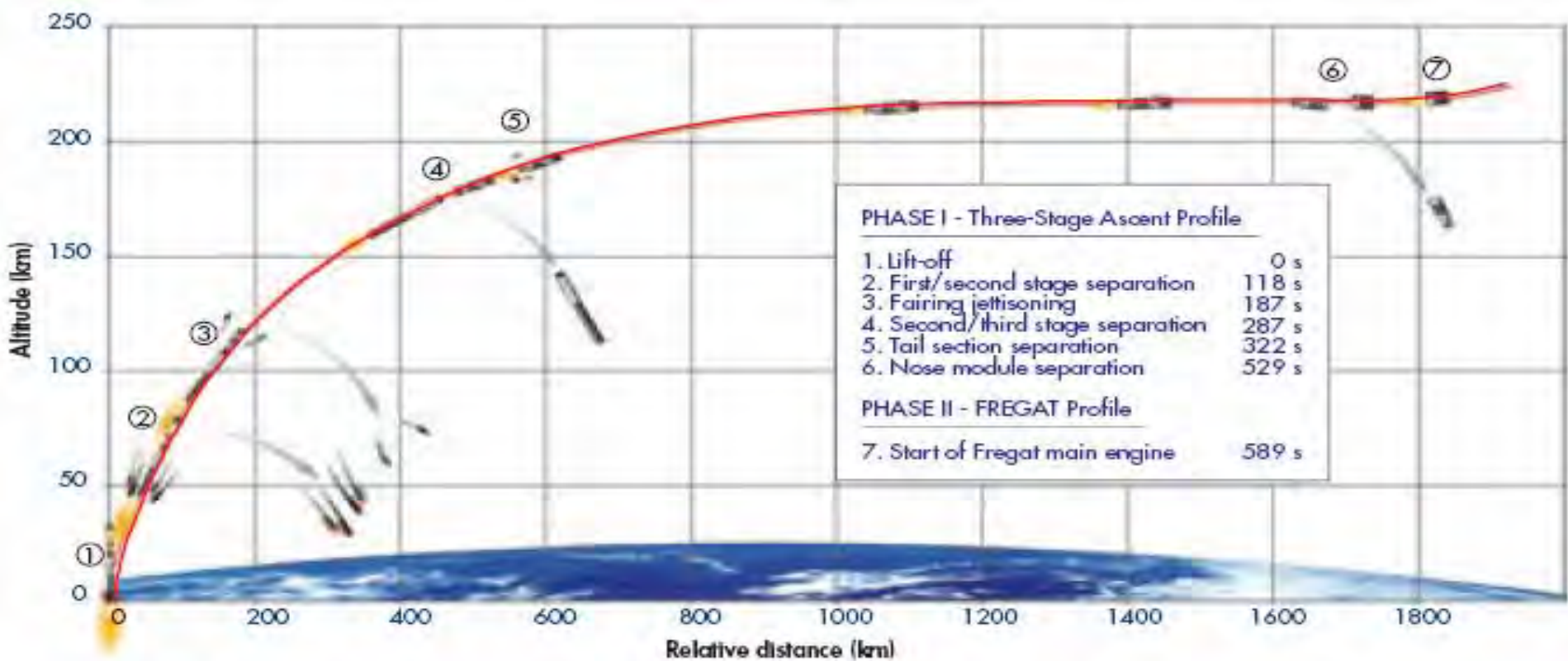
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)
-

SOYUZ

- Ύψος: 42m
- $\varnothing = 3\text{m}$ (10m)
- $m_{\text{αρχ}} = 308,000 \text{ kg}$
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε χαμηλή τροχιά: 8tn
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε γεωστατική τροχιά: 1.3tn
- Η μεγαλύτερη αξιοπιστία διαστημικού εκτοξευτή - 1700 πτήσεις



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)
-

PROTON

- Ύψος: 44m χωρίς φορτίο
- $\varnothing = 7.4m$
- $m_{αρχ} = 680,000 \text{ kg}$
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε χαμηλή τροχιά: 22tn
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε γεωστατική τροχιά: 6tn

- Η μεγαλύτερη αξιοπιστία μεγάλου διαστημικού εκτοξευτή - 300 πτήσεις, 96% επιτυχία



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Διαστημικό Λεωφορείο



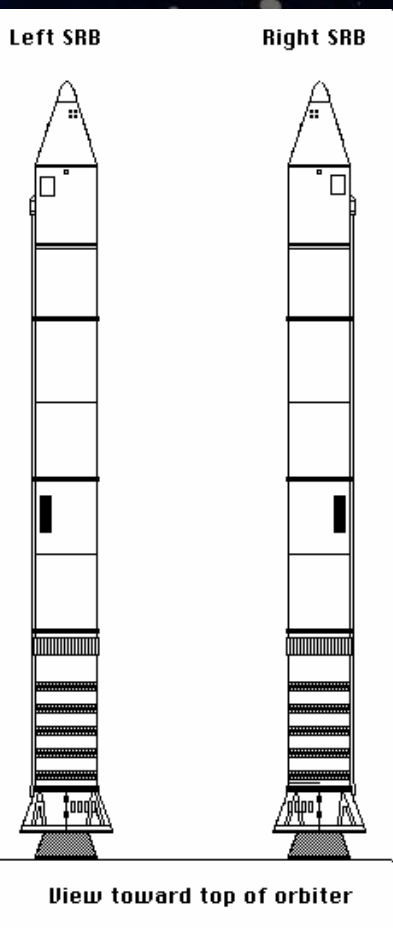
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)
-

Διαστημικό Λεωφορείο

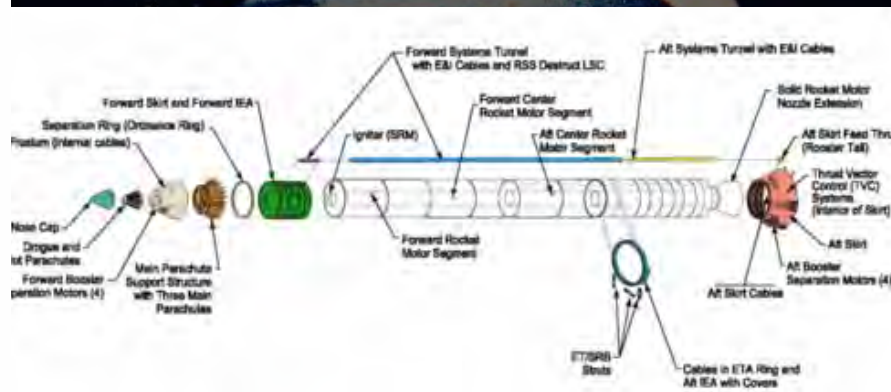
- Ύψος: 58.12 m
- $\varnothing = 8,7\text{m}$ (Εξ. Δεξαμενή)
- $m_{\text{αρχ}} = 2090,000 \text{ kg}$
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε χαμηλή τροχιά: 24tn
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε γεωστατική τροχιά: 3.8tn
- Η πιο ευέλικτη μέθοδος μεταφοράς φορτίου + πληρώματος - 120 πτήσεις, 2 αποτυχίες



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)



Διαστημικό Λεωφορείο SRBs



- $m_{αρχ} = 2 \times 590 \text{tn}$ - $m_{τελ} = 2 \times 87 \text{tn}$
- Δύναμη: $2 \times 1200 \text{tn}$ - Ο δυνατότερος υπάρχων κινητήρας
- Παρέχουν το 83% της προωθ. Δύναμης
- Λειτουργία μέχρι ύψος 45Km

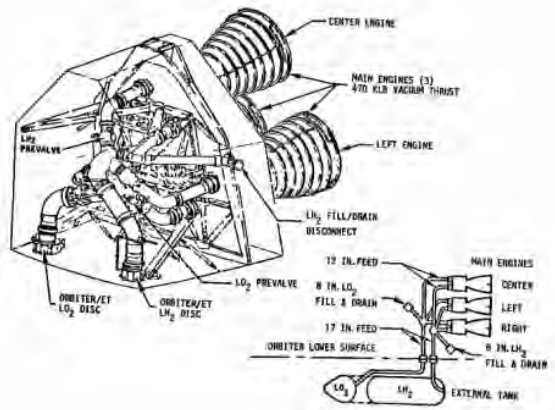
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Διαστημικό Λεωφορείο SSMEs



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Διαστημικό Λεωφορείο SSMEs



- Καύσιμα ($H_2 + O_2$)
- 99% απόδοση καύσης
- $1.3m^3/sec$ κατανάλωση καυσίμου
- Δύναμη 167tn έκαστη
- Χρήση τεχνολογίας ελέγχου με υπολογιστή
- Εξαιρετικά πολύπλοκη - 120 αξιόπιστες πτήσεις

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)
-

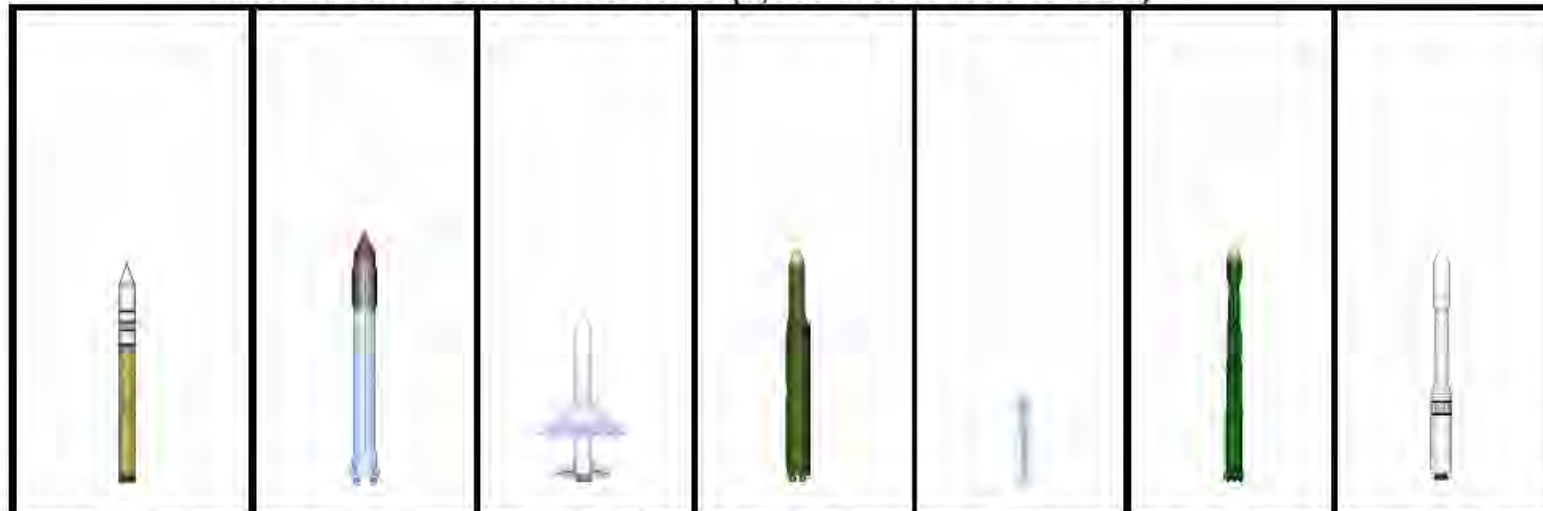


ARIANE 5

- Ύψος: 59m
- $\varnothing = 5.4\text{m}$
- $m_{\text{αρχ}} = 777,000 \text{ kg}$
- 2 Στάδια
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε χαμηλή τροχιά: 21tn
- Ωφέλιμο φορτίο μεταφερόμενο σε γεωστατική τροχιά: 10.5tn !!

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Table 1: Small Launch Vehicles (5,000 lbs. or less to LEO)

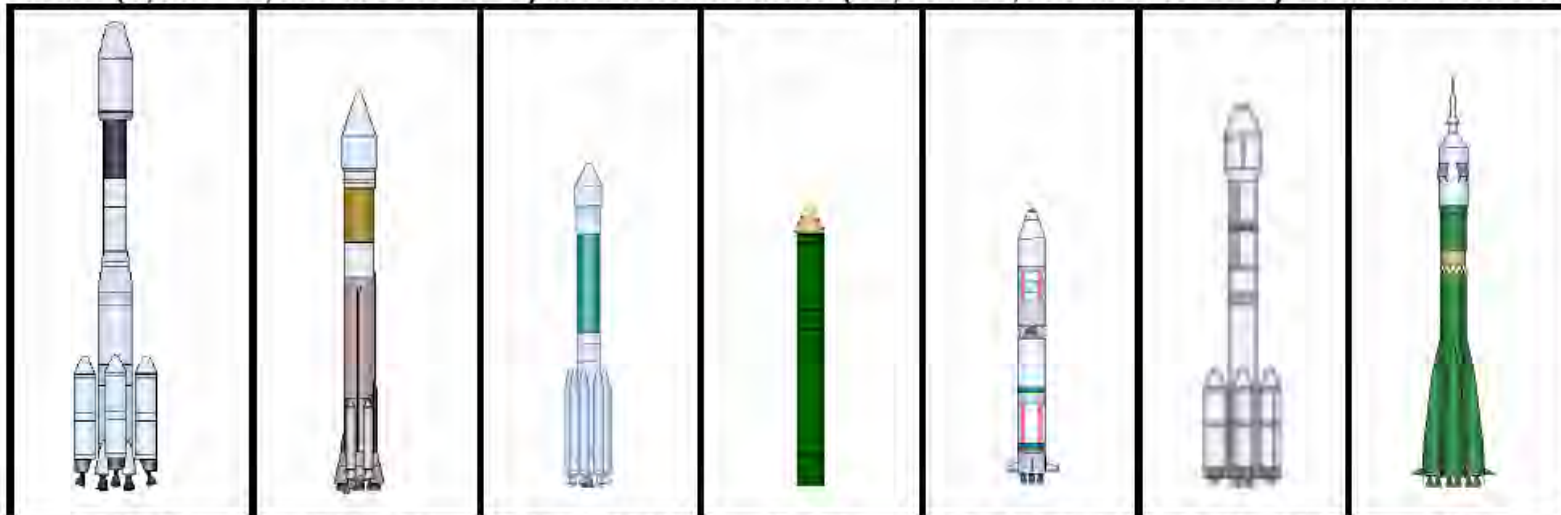


Vehicle name	Athena 2	Cosmos	Pegasus XL	Rockot	Shtil	START	Taurus
Country/Region of origin	USA	Russia	USA	Russia	Russia	Russia	USA
LEO capacity lb (kg)	4,520 (2,065)	3,300 (1,500)	976 (443)	4,075 (1,850)	947 (430)	1,392 (632)	3,036 (1,380)
Reference LEO altitude mi (km)	115 (185)	249 (400)	115 (185)	186 (300)	124 (200)	124 (200)	115 (185)
GTO capacity lb (kg)	1,301 (590)	0	0	0	0	0	988 (448)
Reference site and inclination	CCAFS 28.5 deg.	Plesetsk 62.7 deg.	CCAFS 28.5 deg.	Plesetsk 62.7 deg.	Barents Sea 77-88 deg.	Svobodny 51.8 deg.	CCAFS 28.5 deg.
Estimated launch price (2000 US\$)	\$24,000,000	\$13,000,000	\$13,500,000	\$13,500,000	\$200,000*	\$7,500,000	\$19,000,000
Estimated LEO payload cost per lb (kg)	\$5,310 (\$11,622)	\$3,939 (\$8,667)	\$13,832 (\$30,474)	\$3,313 (\$7,297)	\$211 (\$465)	\$5,388 (\$11,687)	\$6,258 (\$13,768)
Estimated GTO payload cost per lb (kg)	\$18,448 (\$40,678)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	\$19,234 (\$42,411)

* Shtil launch costs partially subsidized by the Russian Navy as part of missile launch exercises

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

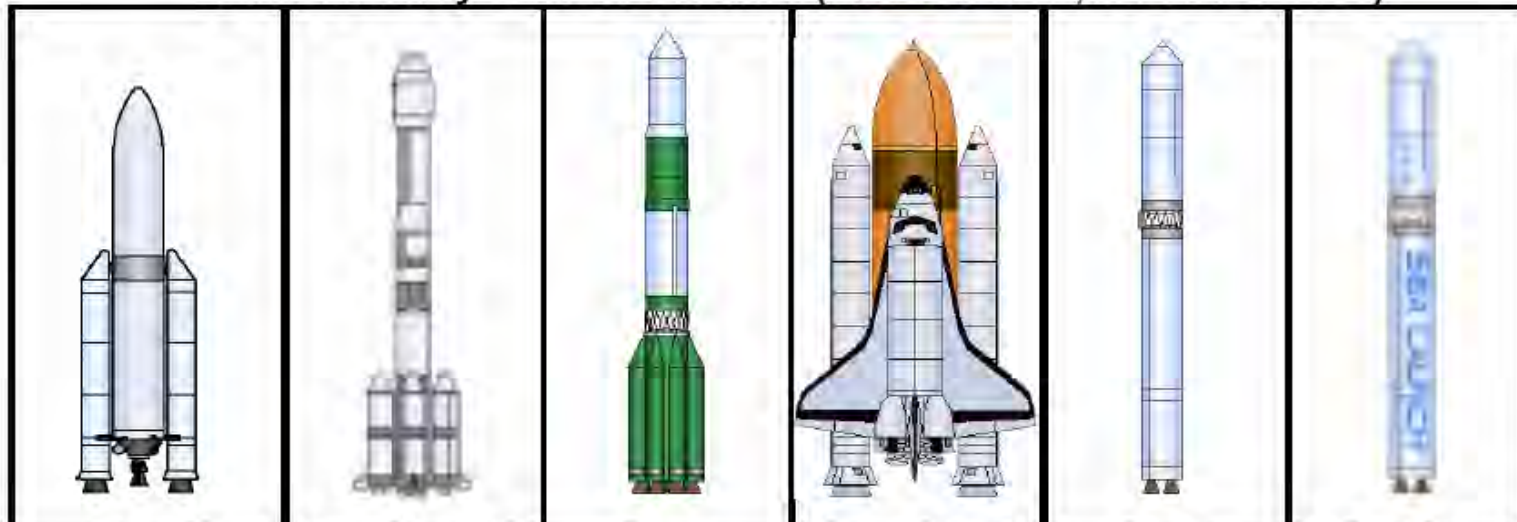
Table 2: Medium (5,001-12,000 lbs. to LEO) and Intermediate (12,001-25,000 lbs. to LEO) Launch Vehicles



Vehicle name	Ariane 44L	Atlas 2AS	Delta 2 (7920/5)	Dnepr	Long March 2C	Long March 2E	Soyuz
Country/Region of origin	Europe	USA	USA	Russia	China	China	Russia
LEO capacity lb (kg)	22,467 (10,200)	18,982 (8,618)	11,330 (5,144)	9,692 (4,400)	7,048 (3,200)	20,264 (9,200)	15,418 (7,000)
Reference LEO altitude mi (km)	124 (200)	115 (185)	115 (185)	124 (200)	124 (200)	124 (200)	124 (200)
GTO capacity lb (kg)	10,562 (4,790)	8,200 (3,719)	3,969 (1,800)	0	2,205 (1,000)	7,431 (3,370)	2,977 (1,350)
Reference site and inclination	Kourou 5.2 deg.	CCAFS 28.5 deg.	CCAFS 28.5 deg.	Baikonur 46.1 deg.	Taiyuan 37.8 deg.	Taiyuan 37.8 deg.	Baikonur 51.8 deg.
Estimated launch price (2000 US\$)	\$112,500,000	\$97,500,000	\$55,000,000	\$15,000,000	\$22,500,000	\$50,000,000	\$37,500,000
Estimated LEO payload cost per lb (kg)	\$5,007 (\$11,029)	\$5,136 (\$11,314)	\$4,854 (\$10,692)	\$1,548 (\$3,409)	\$3,192 (\$7,031)	\$2,467 (\$5,435)	\$2,432 (\$5,357)
Estimated GTO payload cost per lb (kg)	\$10,651 (\$23,486)	\$11,890 (\$26,217)	\$13,857 (\$30,556)	N/A	\$10,204 (\$22,500)	\$6,729 (\$14,837)	\$12,598 (\$27,778)

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

Table 3: Heavy Launch Vehicles (more than 25,000 lbs. to LEO)



Vehicle name	Ariane 5G	Long March 3B	Proton	Space Shuttle	Zenit 2	Zenit 3SL
Country/Region of origin	Europe	China	Russia	USA	Ukraine	Multinational
LEO capacity lb (kg)	39,648 (18,000)	29,956 (13,600)	43,524 (19,760)	63,443 (28,803)	30,264 (13,740)	34,969 (15,876)
Reference LEO altitude km (mi)	342 (550)	124 (200)	124 (200)	127 (204)	124 (200)	124 (200)
GTO capacity lb (kg)	14,994 (6,800)	11,466 (5,200)	10,209 (4,630)	13,010 (5,900)	0	11,576 (5,250)
Reference site and inclination	Kourou 5.2 deg.	Xichang 28.5 deg.	Baikonur 51.6 deg.	KSC 28.5 deg.	Baikonur 51.4 deg.	Odyssey Launch Platform 0 deg.
Estimated launch price (2000 US\$)	\$165,000,000	\$60,000,000	\$85,000,000	\$300,000,000	\$42,500,000	\$85,000,000
Estimated LEO payload cost per lb (kg)	\$4,162 (\$9,167)	\$2,003 (\$4,412)	\$1,953 (\$4,302)	\$4,729 (\$10,416)	\$1,404 (\$3,093)	\$2,431 (\$5,354)
Estimated GTO payload cost per lb (kg)	\$11,004 (\$24,265)	\$5,233 (\$11,538)	\$8,326 (\$18,359)	\$23,060 (\$50,847)	N/A	\$7,343 (\$16,190)

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές πυραύλων (καύσιμη ύλη + οξειδωτικό)

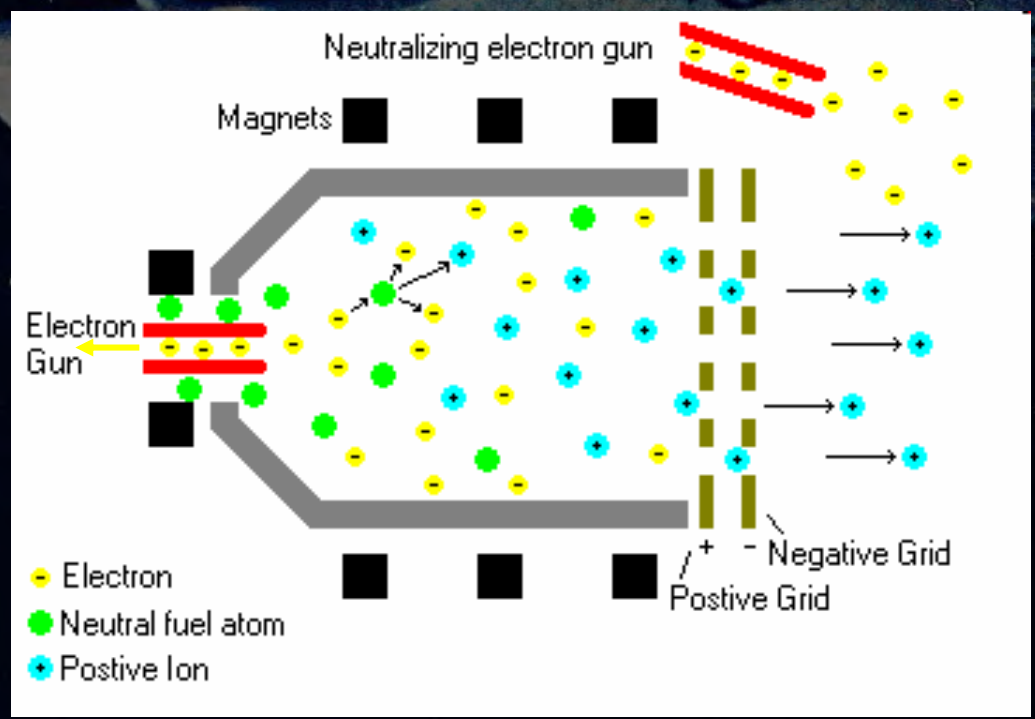
ΚΟΣΤΟΣ

Table 4: Average Price Per Pound for Western and Non-Western Launch Vehicles

Vehicle Class	LEO		GTO	
	Western	Non-Western*	Western	Non-Western*
Small	\$8,445	\$3,208	\$18,841	N/A
Medium/Intermediate	\$4,994	\$2,407	\$12,133	\$9,843
Heavy	\$4,440	\$1,946	\$17,032	\$6,967

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας

Κινητήρας Ιόντων



2-10gr !! P < 10KW

$$F_{thr} \approx \frac{2P}{V_e}$$

Ve > 30 Km/sec

$$\Delta V = V_e \cdot \ln \frac{m_{αρχ}}{m_{τελ}}$$

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
-

Κινητήρας Ιόντων

- Colloid thrusters
- Electrostatic ion thrusters
- Field Emission Electric Propulsion
- Hall effect thrusters
- Helicon Double Layer Thrusters
- Electrodeless plasma thrusters
- Pulsed inductive thrusters
- Magnetoplasmadynamic thrusters
- Variable specific impulse magnetoplasma rockets

DEEP SPACE 1 - SMART 1 - HAYABUSHA.....

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας

Κινητήρας Ιόντων - SMART I

Hall effect thruster



367 Kg

80Kg Xenon

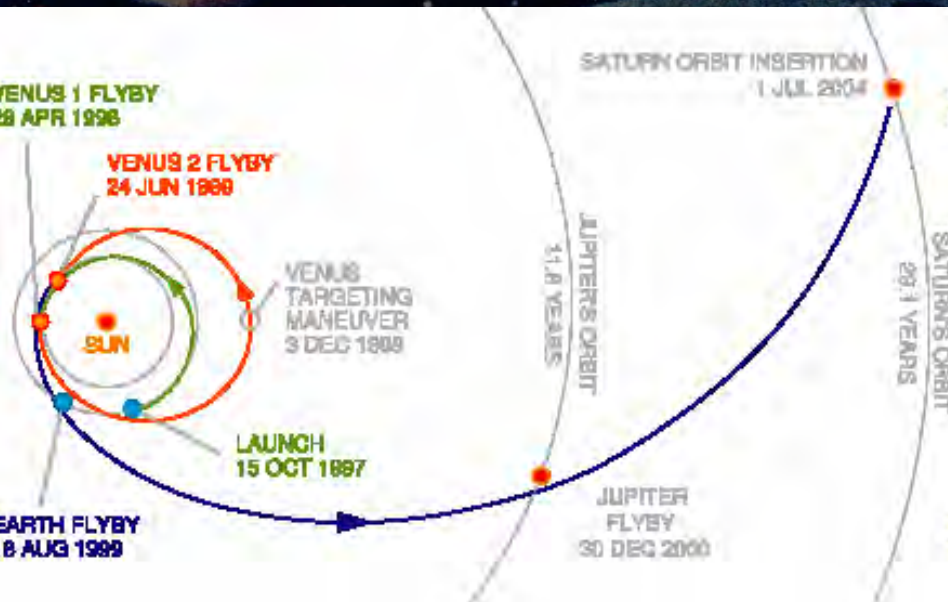


29Kg

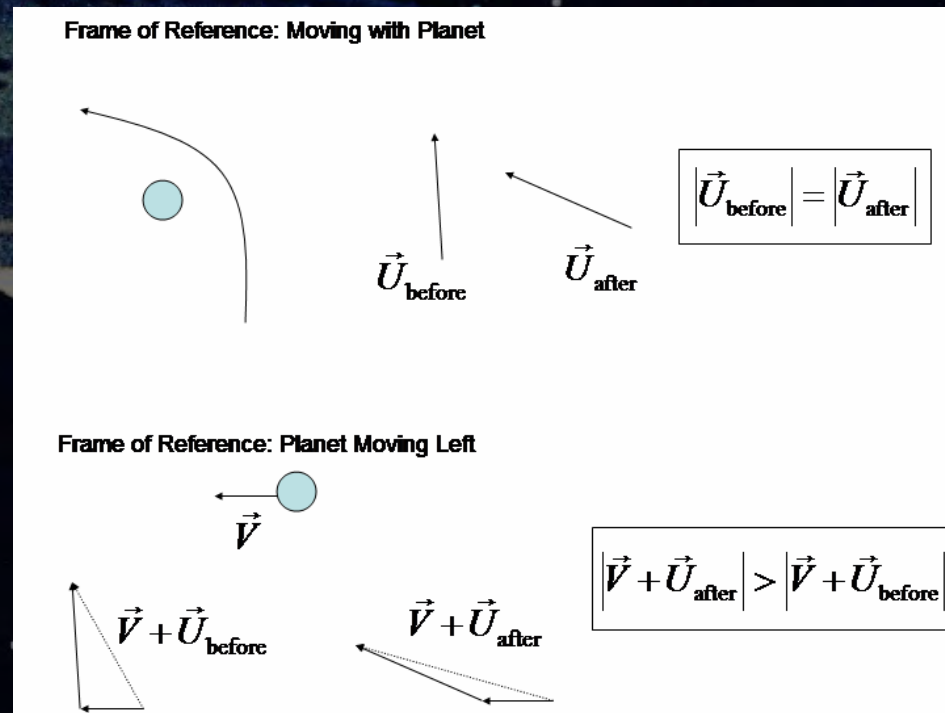
- 1200 W_{peak} / 60% απόδοση
- $V_e \approx 15\text{Km/sec}$
- $F_{\text{thr}} = 6.8\text{gr} \Rightarrow <0.00002\text{g}$
- 80Kg Xenon $\Rightarrow 208\text{d}$ & 4.5Km/sec ΔV
- 110 εκ. € αποστολή στη Σελήνη + ανάπτυξη



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι εν χρήση
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
 - Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα
 - Εκμετάλλευση βαρυτικής έλξης πλανητών



(Voyager II \Rightarrow 16.5 Km/sec)



▪ Status Τεχνολογίας

▪ Μέθοδοι σε φάση έρευνας

- Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
- Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα

Κάθε επιστημονική ιδέα περνάει από 3 στάδια:

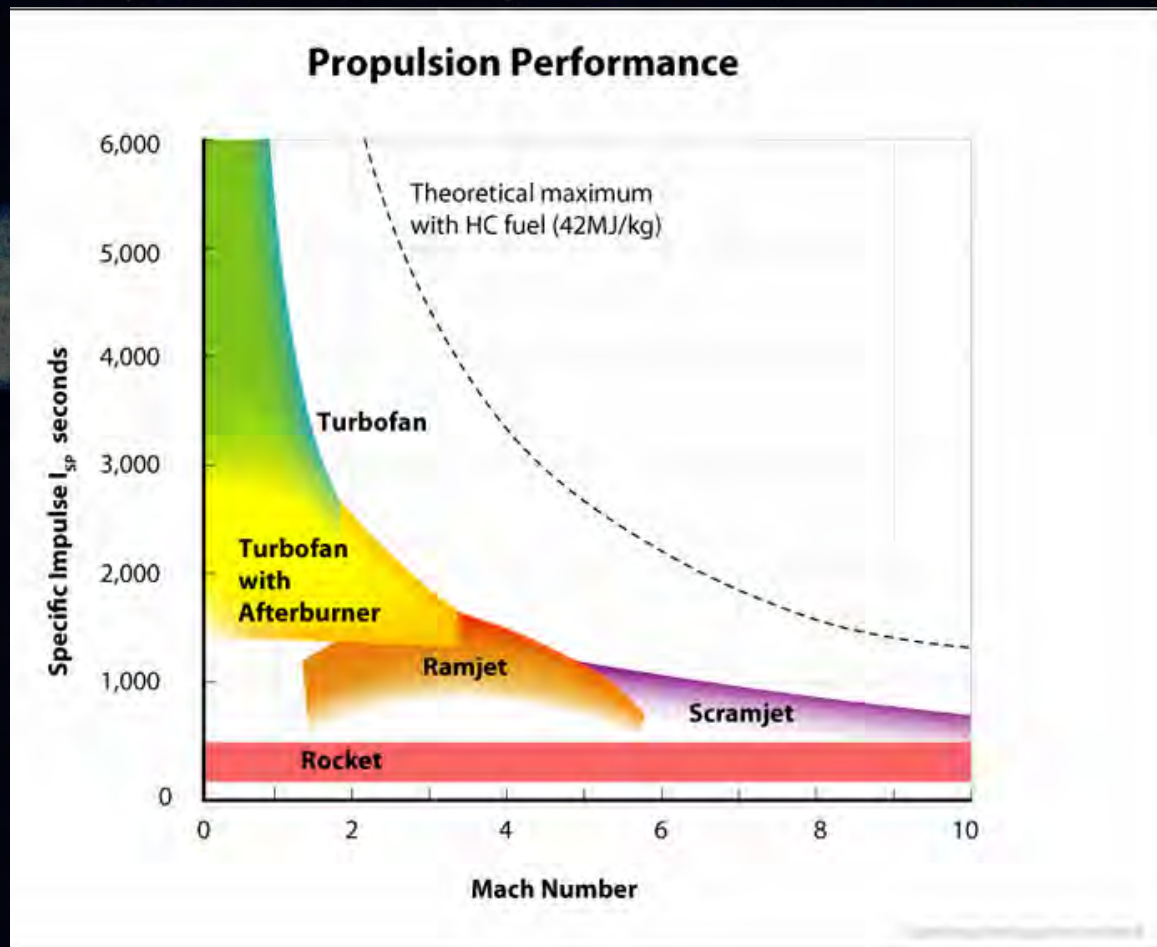
Αυτό είναι αδύνατο και αποτελεί ανοησία

Πρέπει να το μελετήσουμε αλλά είναι σχεδόν αδύνατο

Ήταν δική μου ιδέα... Εγώ το έλεγα από την αρχή

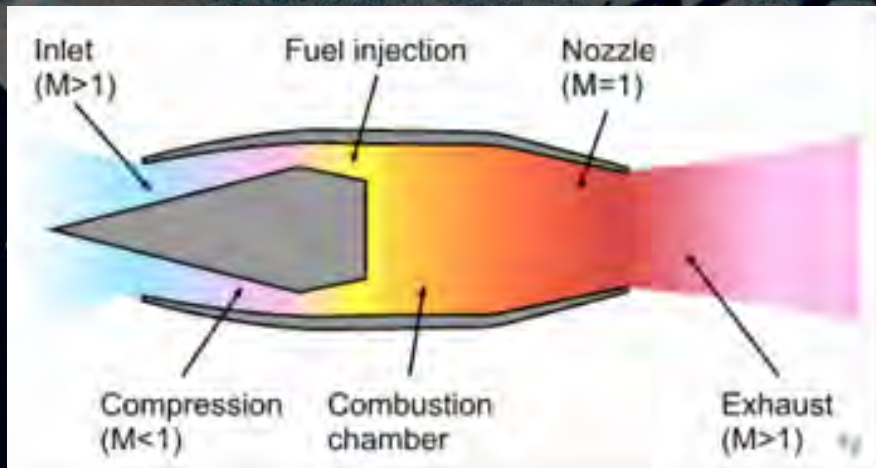
Arthur C. Clark

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
- Μηχανές χρήσης ατμοσφαιρικού αέρα



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές χρήσης ατμοσφαιρικού αέρα

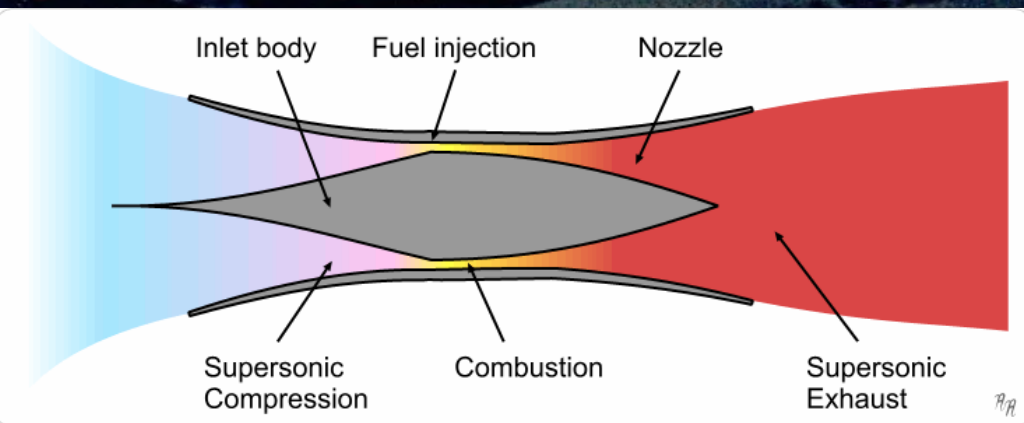
RAMJET



- Ελάχιστη ταχύτητα: $\approx 1 \text{Mach}$
- Μέγιστη: $\approx 5 \text{Mach}$

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές χρήσης ατμοσφαιρικού αέρα

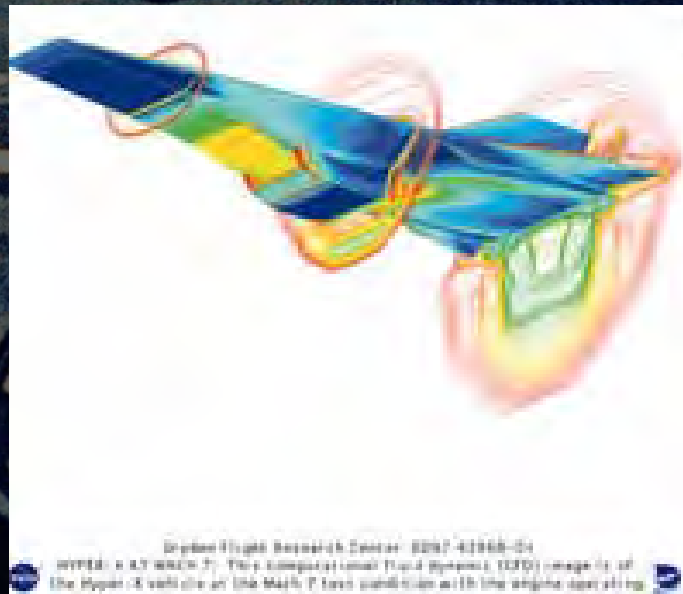
SCRAMJET (supersonic combustion ramjet)



- Ελάχιστη ταχύτητα: ≈ 6 Mach
- Μέγιστη: $\approx 20+$ Mach
- Χρειάζεται προώθηση από άλλη μέθοδο μέχρι τα 5-8 Mach
- Δεν έχει αποδείξει επιτυχή πτήση υπερ-υπερυχητικού οχήματος έως αυτή τη στιγμή

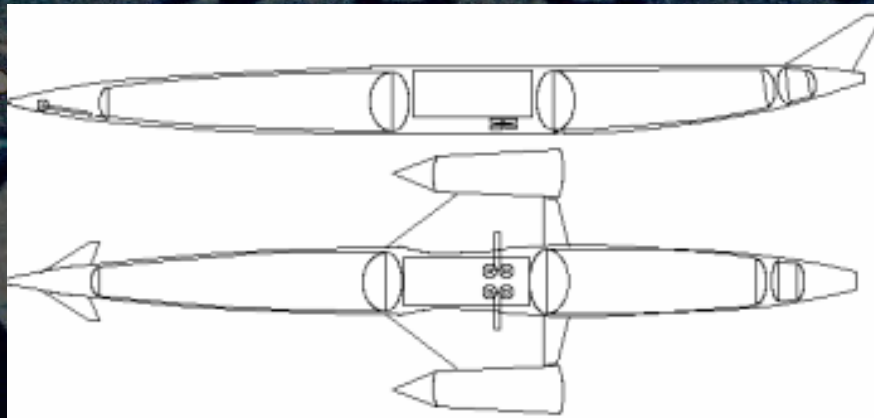
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές χρήσης ατμοσφαιρικού αέρα
-

X-43 - SCRAMJET




- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Μηχανές χρήσης ατμοσφαιρικού αέρα
-

SABRE (Synergic Air Breathing Engine)



Skylon

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
-

- 
- Ion thruster
 - Electrostatic ion thruster
 - Field Emission Electric Propulsion
 - Helicon Double Layer Thruster
 - Electrodeless plasma thruster
 - Pulsed inductive thruster
 - Magnetoplasmadynamic thruster
 - Variable specific impulse magnetoplasma rocket
 - Mass drivers (for propulsion)

- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
-

Magnetoplasmadynamic (MPD) thruster



- Χρήση Δύναμης Lorenz
- $V_e \sim 110 \text{ Km/sec}$
- $F_{thr} \sim 200 \text{ N (20 KgF)}$



- $P \sim \text{MWs}$

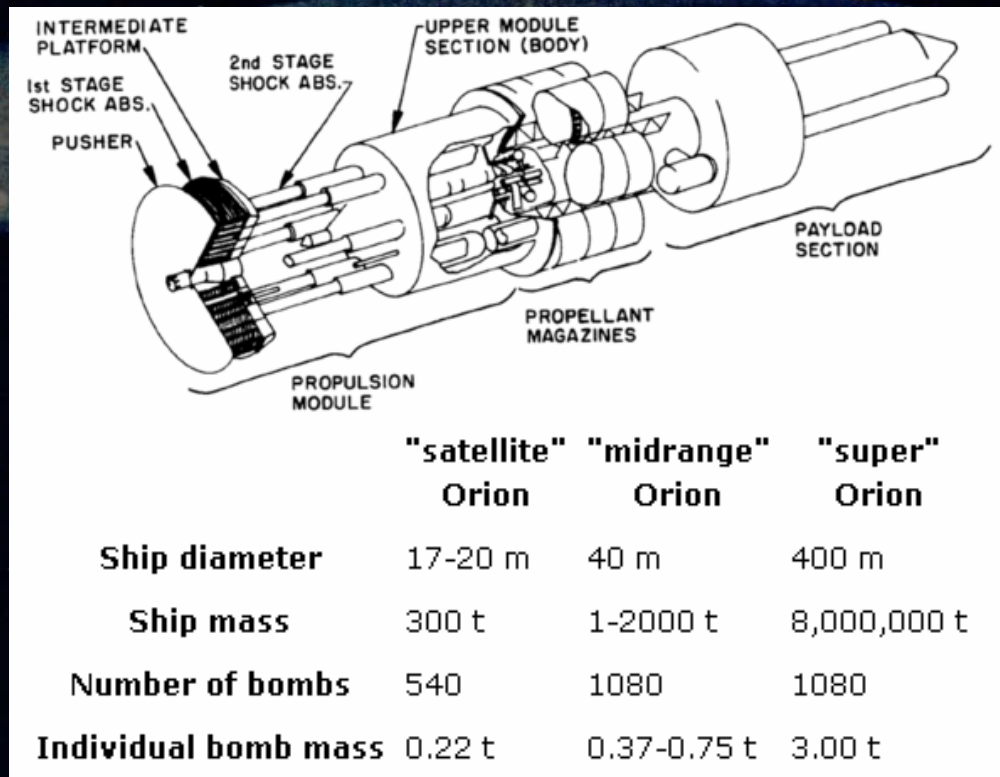
- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
 - Χρήση πυρηνικής ενέργειας
-

ORION



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Χημική ενέργεια (καύσης)
 - Χρήση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας
- Χρήση πυρηνικής ενέργειας

ORION



- Status Τεχνολογίας

- Μέθοδοι σε φάση έρευνας

- Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας

- Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα

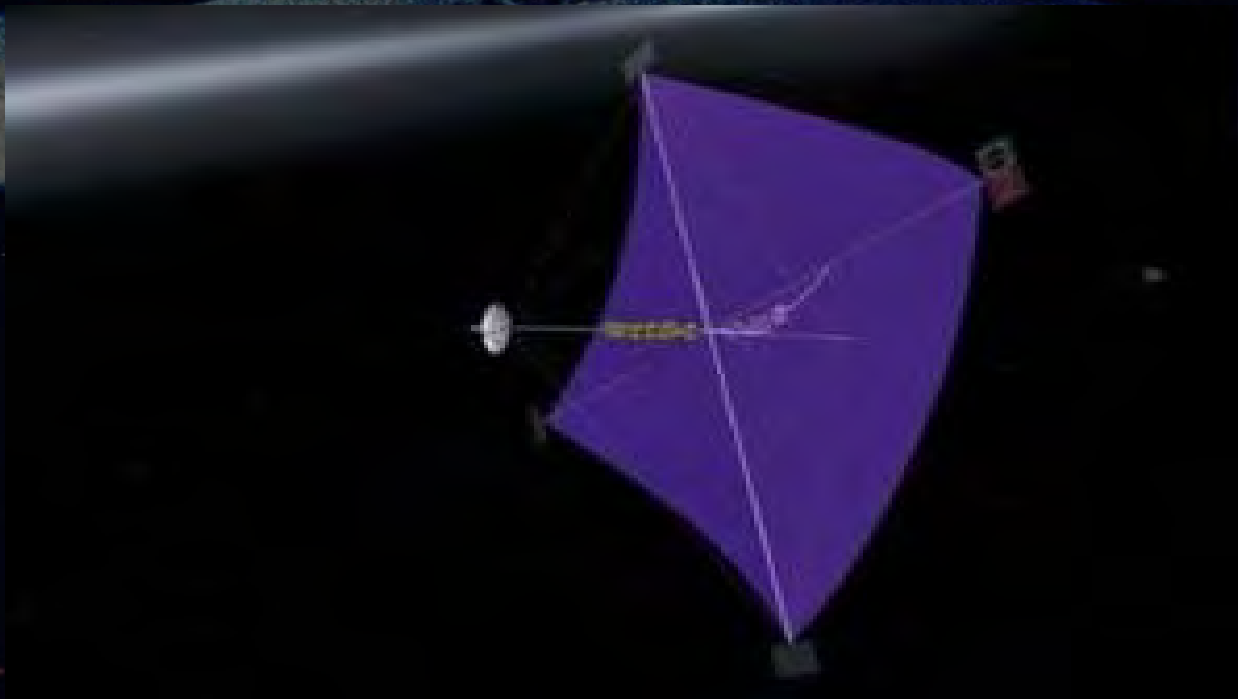
- Ηλεκτρομαγνητικό (σκοινί)

Tether propulsion



- Status Τεχνολογίας
 - Μέθοδοι σε φάση έρευνας
 - Μέθοδοι εκτόξευσης προωθητικής μάζας
 - Μέθοδοι που δεν εκτοξεύουν προωθητική μάζα
 - Ηλεκτρομαγνητικό (σκοινί)
 - **Ηλιακά πανιά**
-

ΗΛΙΑΚΑ ΠΑΝΙΑ



Αναφορές

- www.en.wikipedia.org
- www.nasa.gov
- www.esa.int
- www.futron.com
- www.space.com

“If we have learned one thing from the history of invention and discovery, it is that, in the long run - and often in the short one - the most daring prophecies seem laughably conservative.”

A. Clark